



## AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP B 60 L / 297 917 7

(22) 19.12.86

(44) 23.03.88

(71) Zentrales Forschungsinstitut des Verkehrswesens, Zentrum für Prozeßautomatisierung, Markgrafendamm 24, Berlin, 1017, DD

(72) Gohlisch, Gunnar, Dipl.-Math.; Schwarzig, Andreas, Dipl.-Ing.; König, Frank, Dipl.-Ing., DD

(54) Verfahren zur Ermittlung energieoptimaler Fahrregime für Schienenfahrzeuge

(55) Energieoptimales Fahrregime, E-Traktionen, Dieseltraktion, Schienenfahrzeuge, Trassenbedingungen, Abschalthandlungen, Bewegungsphasen, Anfahrt, Beharrungsfahrt, Auslauf, Bremsen, Personen- und Vorortverkehr, Schnellzugdienst, Stützstellenspektrum

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung energieoptimaler Fahrregime für Schienenfahrzeuge unter besonderer Beachtung der Trassenbedingungen. Das Verfahren kann zur Energieeinsparung im Vorort-, Personenzugverkehr und im Schnellzugdienst sowohl für E-Traktionen als auch für die Dieseltraktion eingesetzt werden. Die Schalthandlungen werden in Abhängigkeit von den Übergängen von Neigungen zu Steigungen und umgekehrt vorgenommen, so daß die Bewegungsphasen Anfahrt, eventuell Beharrungsfahrt, Auslauf und Bremsen mehrmals vorhanden sein können. Die realen Streckenverhältnisse sind dabei als Stützstellenspektrum vorhanden. Die notwendigen Vergleiche werden mit einem Bordmikrorechner vorgenommen. Fig. 2

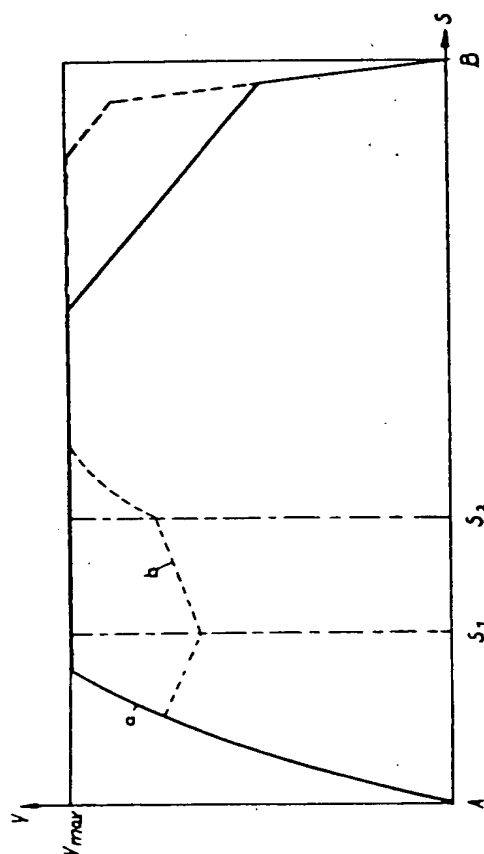


Fig. 2

## Patentanspruch:

Verfahren zur Ermittlung energieoptimaler Fahrregime für Schienenfahrzeuge unter besonderer Beachtung der Trassenbedingungen mit einem Fahrregime, bestehend aus den Bewegungsphasen Anfahrt, gegebenenfalls Beharrungsfahrt, Auslauf und Bremsen, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Übergängen von Gefällen zu Steigungen und umgekehrt die genannten Bewegungsphasen mehrmals auftreten und die Abschalthandlungen für die Abschaltgeschwindigkeit  $v_{AB}$  bzw. den Abschaltweg  $s_{AB}$  sowie den Bremseinschaltpunkt  $s_{AB}$  in Abhängigkeit von der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit derart vorgenommen werden, daß bei einem Wechsel des Trassenprofils von einer Steigung zu einer Neigung innerhalb der Bewegungsphase Anfahrt der Abschaltweg  $s_{AB}$  verkürzt wird bzw. wenn erforderlich erneut ein Zuschalten der Zugkraft nach Auslauf vorgenommen wird und der vorzunehmende Vergleich nach vorgegebenen Stützstellenspektrum mit einem auf dem Fahrzeug installierten Bordmikrorechner erfolgt.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

## Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung energieoptimaler Fahrregime für Schienenfahrzeuge unter besonderer Beachtung der Trassenbedingungen.

## Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Bekannt ist ein Verfahren (DD B 60 L 15/20, Nr. 208324) bei dem die funktionalen Beziehungen für die Schaltpunkte  $v_{AB}$ ,  $s_{AB}$  sowie  $s_B$  und für Fahrzeit  $t_F$  auf der Basis diskreter Fahrzeiten und damit für diskrete Fahrstrategien durch eine digitale Simulation von Zugfahrten entsprechend den realen Streckenverhältnissen wie Haltepunktabstand, Weg-Neigungs- und Weg-Geschwindigkeitsprofil und den realen Zug- bzw. Fahrzeugverhältnissen wie Fahrwiderstand, Geschwindigkeits-Zugkraftcharakteristik, Zugmasse und Bremsverzögerung auf einer stationären EDV im voraus ermittelt werden. Diese funktionellen Beziehungen  $v_{AB} = f(t_F)$ ,  $s_{AB} = f(t_F)$  und  $s_B = f(t_F)$  können somit zunächst durch diskrete Stützstellen beschrieben werden.

Für vereinfachte Bedingungen ist es damit unter Umständen zweckmäßig, die Funktionen  $v_{AB} = f(t_F)$ ,  $s_{AB} = f(t_F)$ ,  $s_B = f(t_F)$  durch eine stückweise Linearisierung darzustellen und die für beliebige Fahrzeitvorgaben gesuchten Werte  $v_{AB}(t_F)$ ,  $s_{AB}(t_F)$  oder  $s_B(t_F)$  durch Geradengleichungen, lineare Interpolationsbeziehungen o. ä. zu ermitteln. Durch eine geeignete Anzahl von Stützstellen können die durch die Linearisierung verursachten Fehler in vertretbaren Grenzen gehalten werden. Die auf dem Fahrzeug zu installierende Bordelektronik hat damit vor allem die Aufgaben der Speicherung der Stützstellen  $v_{AB}$ ,  $s_{AB}$ ,  $s_B$  und  $t_F$  und der Abarbeitung der erforderlichen Rechengesetze. Die Ermittlung der jeweiligen Speicherplatzadresse für die zu dem aktuellen Streckenabschnitt zugehörigen Stützstellen erfolgt durch Summieren der zurückgelegten Streckenabschnitte in einem Abschnittszähler und gleichfalls abgespeicherten Rechenvorschriften unter Nutzung des aktuellen Zählerstandes im Abschnittszähler. Die Abspeicherung der Werte  $v_{AB}$ ,  $s_{AB}$  und  $s_B$  wird durch je ein oder mehrere aus 3 Bit bestehenden Speicherworten realisiert. Die Abhängigkeit von der aktuellen Fahrzeitvorgabe ermittelten optimalen Umschaltpunkte  $v_{AB}$ ,  $s_{AB}$  und  $s_B$  können sowohl über eine digitale Anzeigevorrichtung an den Triebfahrzeugführer ausgegeben werden und dieser realisiert die eigentliche Zugsteuerung (open-loop-Steuerung) als auch unmittelbar an eine selbsttätige Steuereinrichtung übergeben werden (close-loop-Steuerung), so daß der Triebfahrzeugführer mit Hilfe der Anzeigevorrichtung im Wesentlichen nur eine Kontrollfunktion ausübt. Die bemerkenswerte Charakteristik des Verfahrens auf der Grundlage der Verarbeitung von konkreten Stützstellen besteht darin, daß sowohl Abschaltgeschwindigkeit als auch Abschaltwege durch eine mathematische Vorschrift und mittels eines Stützstellensatzes pro Streckenabschnitt berechnet werden können. Die Ergebnisinterpretation und damit die Art und Weise der Fahrregimeempfehlung resultiert dabei unmittelbar aus dem Monotieverhalten der für jeden Streckenabschnitt abgespeicherten Folge von Stützstellen.

Ergeben die  $n$  Funktionswerte der Stützstellen mit dem Zählindex von  $j = 1$  bis  $j = n$  eine monotone fallende Folge im strengen Sinne, so ist jede der Stützstellen und damit das Berechnungsergebnis als eine Abschaltgeschwindigkeit zu interpretieren. Weicht der Funktionswert der Stützstelle  $j = n$  von dieser Monotie ab, wird durch diesen eine Abschaltgeschwindigkeit repräsentiert; alle übrigen  $n-1$  Funktionswerte werden als Abschaltwege identifiziert. Liegt die verfügbare Fahrzeit im Bereich der Stützstellen  $n = n-1$  und  $j = n$ , erfolgt ein Austausch der  $j = (n-1)$ -ten (Weg) Stützstelle mit der zulässigen strecken- und fahrzeugabhängigen Höchstgeschwindigkeit, die aus dem Wert der  $j = n$ -ten Stützstelle über vereinbarte mathematische Beziehungen oder einfache Festlegungen ermittelt werden kann. Der Funktionswert der  $j = n$ -ten Stützstelle muß dabei stets einen größeren Betrag als der der  $j = (n-1)$ -ten Stützstelle aufweisen, um als Geschwindigkeit erkannt zu werden. Diese ist bei geeigneter Zahlendarstellung mit den praktischen Gegebenheiten vereinbar.

Der Fall  $v_{AB}(j = n) < s_{AB}(j = n-1)$  ist für die Praxis gegenstandslos.

Die dargestellte Lösung zur energieoptimalen Fahrweise hat den Nachteil, daß bei Übergängen von Steigungen zu Neigungen in den Bewegungsphasen Beharrungsfahrt, Auslauf und Bremsen eine zusätzliche Bremskraft aufgewandt werden muß und somit die Möglichkeiten der Energieeinsparung noch nicht ausgenutzt sind.

Bei einem weiteren Fahrregime (DD B 60 L 15/20 Nr. 236 705), ebenfalls bestehend aus den Bewegungsphasen Anfahrt, gegebenenfalls Beharrungsfahrt, Auslauf und Bremsen, dessen Prozessverlauf durch die physikalischen Zustandsgrößen Weg, Geschwindigkeit und Zeit charakterisiert wird, werden die Abschalthandlungen für die Abschaltgeschwindigkeit ( $v_{AB}$ ) bzw. den Abschaltweg ( $s_{AB}$ ) sowie den Bremseinschaltpunkt ( $s_B$ ) in dem befahrenen Teilabschnitt jeweils in Abhängigkeit von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in demselben und in Abhängigkeit von den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten in dem nachfolgenden Teilabschnitt oder in den nachfolgenden Teilabschnitten und in Abhängigkeit vom Fahrplan vorgenommen. Es erfolgt in bekannter Weise mittels Mikrorechner ein Vergleich zwischen Soll- und Istzustand und eine Nutzung der sich ergebenden Impulse zur Steuerung der Zugbewegung. Ein Teilabschnitt ist definiert als ein Abschnitt innerhalb einer Zugfahrt zwischen zwei Halten, der mit einer Anfahrt oder mit einer Beharrungsfahrt bedingt durch das Vorhandensein einer Geschwindigkeitsbeschränkung beginnt und mit einer Bremsung bis auf eine Geschwindigkeit entsprechend der vorliegenden Beschränkung oder bis zum Stillstand endet.

Auch mit dieser Lösung sind die Möglichkeiten einer energieoptimalen Fahrweise noch nicht ausgeschöpft, da das über die zusätzliche Bremskraft Gesagte auch hier zutrifft.

### Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, eine weitere Energieeinsparung zu erreichen.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Ursachen der angegebenen Mängel liegen darin, daß bei beiden zum Stand der Technik gehörenden Erfindungen ein Weg-Neigungs- und Weg-Geschwindigkeitsprofil zwar vorausgesetzt wird, aber die Abschalthandlungen bei Wechsel von einer Steigung zu einer Neigung auf das Abbremsen der durch die Neigung erzielten zu großen Geschwindigkeit gerichtet sind. Die technische Aufgabe der Erfindung besteht darin, den Wechsel des Weg-Neigungs- und Weg-Geschwindigkeits-Profiles bei Vornahme der Schalthandlungen für eine Energieeinsparung auszunutzen.

Erfindungsgemäß besteht das Verfahren darin, daß bei einem Fahrregime, bestehend aus den Bewegungsphasen Anfahrt, gegebenenfalls Beharrungsfahrt, Auslauf und Bremsen darin, daß bei Übergängen von Gefällen zu Steigungen und umgekehrt die genannten Bewegungsphasen mehrmals auftreten. Die Abschalthandlungen für die Abschaltgeschwindigkeit  $v_{AB}$  bzw. den Abschaltweg  $s_{AB}$  sowie den Bremseinschaltpunkt  $s_B$  werden in Abhängigkeit von der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit und unter Einhaltung der vorgegebenen Fahrzeit derart vorgenommen, daß bei einem Wechsel des Trassenprofils von einer Steigung zu einem Gefälle innerhalb der Bewegungsphase Anfahrt der Abschaltweg  $s_{AB}$  verkürzt wird bzw. wenn erforderlich erneut ein Zuschalten der Zugkraft nach Auslauf vorgenommen wird. Der vorzunehmende Vergleich erfolgt nach vorgegebenen Stützstellenspektrum mit einem auf dem Fahrzeug installierten Bordmikrorechner.

### Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Beispiel näher erläutert werden. Die zugehörige Zeichnung zeigt in

Fig. 1: ein Streckenband

Fig. 2: Zugfahrt zwischen zwei Haltepunkten

Die Fig. 1 zeigt das Streckenband einer fiktiven Strecke zwischen zwei planmäßigen Halten A und B, für die die Anwendbarkeit des dargestellten Verfahrens gegeben ist.

In der Fig. 2 ist der Verlauf zweier Zugfahrten zwischen den Haltepunkten A, B dargestellt. Die Punkte  $S_1$  bzw.  $S_2$  kennzeichnen hierbei den aus der Fig. 1 ersichtlichen Übergang von einer Steigung zu einem Gefälle bzw. den entgegengesetzten Fall. Während die mit a gekennzeichnete Fahrweise der bekannten Abfolge

- Anfahrt,
- Beharrungsfahrt entlang der zulässigen Höchstgeschwindigkeit,
- Auslauf und
- Bremsen

in einem Abschnitt mit konstanter zulässiger Maximalgeschwindigkeit  $V_{max}$  entspricht und dementsprechend zwischen  $S_1$  und  $S_2$  eine der Streckenneigungskraft entgegenwirkende Bremskraft zugrunde liegt, ermöglicht das neue Verfahren eine energetische Ausnutzung der Gefälle Strecke  $S_1 \rightarrow S_2$  wie sie der Fahrweise b entspricht.

Ausgangspunkt des Verfahrens ist die Aufgliederung eines Streckenabschnittes zwischen zwei planmäßigen Halten in n Teilabschnitte, die durch das Ende einer Gefälle Strecke, in der ohne Zuschalten der Zugkraft die zulässige Höchstgeschwindigkeit beibehalten ist, bzw. den Endpunkt B begrenzt werden.

Sofern nicht variierende Geschwindigkeitsbeschränkungen dem widersprechen, wird für jeden dieser Teilabschnitte die Möglichkeit einer Anfahrt bzw. Beharrungsfahrt vorausgesetzt. Ein Ausgleich eingetretener Fahrzeitverluste durch Abschalten der Zugkraft in starken Gefälle Strecken ist somit möglich und die Einhaltung der vorgeschriebenen Fahrzeit  $t_i$  somit gewährleistet. Die entsprechenden funktionalen Zusammenhänge zwischen Abschaltgeschwindigkeit  $v_{AB}(t_i)$  bzw. Abschaltweg  $s_{AB}(t_i)$ ,  $i = 1(1)n$ , und der Fahrzeit  $t_i$  sind bereitzustellen. Unter Berücksichtigung der Sollfahrzeit und eventueller Verspätungs- und Verfrühungslagen werden aus den Funktionen  $v_{AB}(t_i)$  und  $s_{AB}(t_i)$  die hinsichtlich Energieverbrauch optimalen Abschaltpunkte der Zugkraft in den Teilabschnitten bestimmt und einer automatischen Zugsteuerung bzw. dem Triebfahrzeugführer zur Vornahme der Schalthandlungen übermittelt.

Das erfindungsgemäße Verfahren führt zu einer von der jeweiligen Traktionsart unabhängigen Einsparung an Energie. Darüberhinaus ermöglicht der Ansatz mehrmaliger Anfahrten in Abhängigkeit vom Streckenprofil den Zugang zur energiesparenden Fahrweise im Fernverkehr.



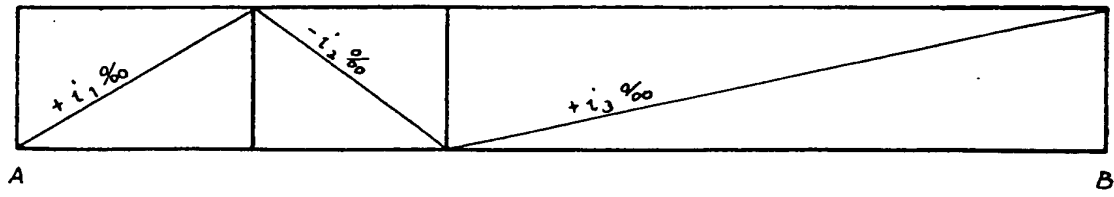


Fig. 1

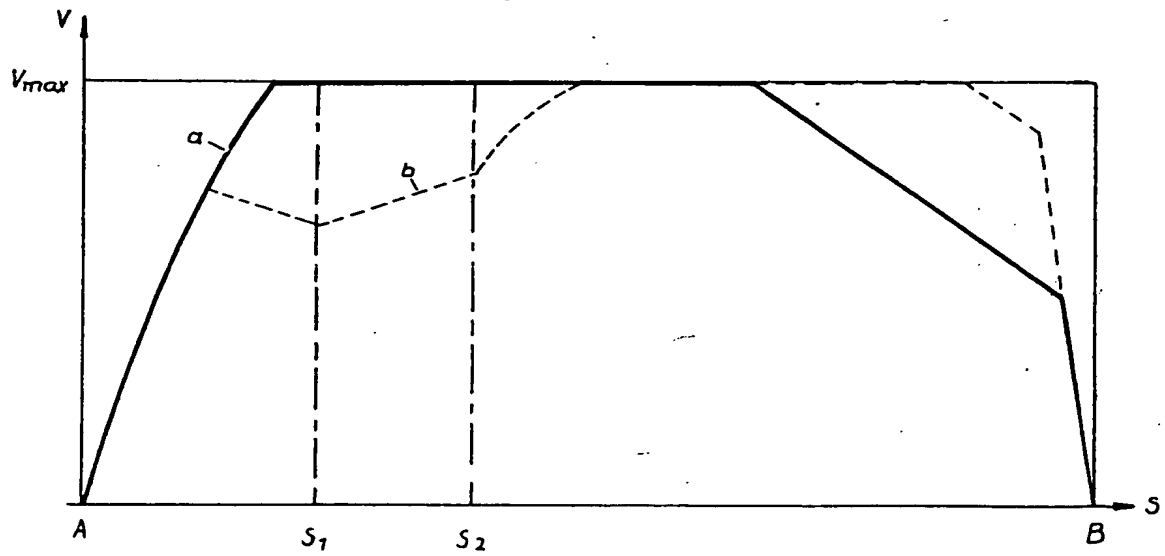


Fig. 2



44